

VŠB – Technická univerzita Ostrava
Fakulta stavební
Katedra stavebních hmot a hornického stavitelství

Stavebně technický průzkum historických zděných budov

Technical – Building Survey of Historical Brick Buildings

Student:
Vedoucí bakalářské práce:

Tomáš Höchsmann
doc. Ing. Vojtěch Mencl, CSc.

Ostrava 2010

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta stavební
Katedra stavebních hmot a hornického stavitelství

Zadání bakalářské práce

Student: **Tomáš Hőchsmann**
Studijní program: B3607 Stavební inženýrství
Studijní obor: 3647R019 Stavební hmoty a diagnostika staveb
Téma: Stavebně technický průzkum historických zděných budov
Technical - Building survey of historical brick buildings

Zásady pro vypracování:

1. Úvod
2. Historický vývoj zděných staveb na území České republiky
3. Metodika průzkumu historických staveb
4. Předběžný stavebně technický průzkum vybrané stavby
5. Závěr

Seznam doporučené odborné literatury:

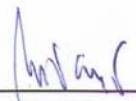
1. Škabrada, J. Konstrukce historických staveb. Argo, Praha, 2003.
2. Witzany, J. Poruchy a rekonstrukce zděných budov. ČKAIT, Praha, 1999

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

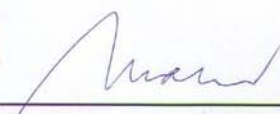
Vedoucí bakalářské práce: **doc. Ing. Vojtěch Mencl, CSc.**

Datum zadání: 30.10.2009

Datum odevzdání: 03.05.2010


Ing. Martin Vavro, Ph.D.
vedoucí katedry




doc. Ing. Alois Materna, CSc., MBA
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce Doc. Ing. Vojtěcha Mencla, CSc. a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě dne

.....

Podpis studenta

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. – autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§ 35 odst. 3 zákona č. 121/2000 Sb.)
- souhlasím s tím, že jeden výtisk bakalářské práce bude uložen v Ústřední knihovně VŠB-TUO k prezenčnímu nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o bakalářské práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb. O vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě

Poděkování:

Rád bych poděkoval Doc. Ing. Vojtěchu Menclovi, CSc. za odborné vedení a cenné rady, které mi pomohly při psaní této práce.

Mé poděkování dále patří památkovému ústavu v Olomouci za poskytnutí podkladů k olomouckým hradbám, které se staly objektem pro provedení předběžného stavebně technického průzkumu.

Anotace

Česká republika má velmi bohatou kulturní historii, ve které vzniklo velké množství historicky hodnotných staveb. Stavebně – historický průzkum těchto staveb má za úkol popsat stávající stav objektu jako celku, jak z hlediska stavebního, tak historického a architektonického.

Velká většina těchto staveb má svoji životnost již mnohonásobně překročenou. Díky nezájmu vlastníka se objektu nedostávalo řadu desetiletí někdy i století patřičné údržby a je tedy vhodné zasadit se o záchranu historických objektů i pro další generace. V první části této práce jsem se snažil přiblížit historii zděných konstrukcí a vývoj opevňovacích staveb. V druhé části jsem popsal pomocí průzkumu a příslušných laboratorních zkoušek vady vybrané stavby.

Annotation

The Czech Republic has the very rich cultural history that is responsible for the birth of a big amount of historical valuated buildings. Construction-historical survey of these buildings has to describe current state as a whole in order to include constructional, historical and architectonic point of view.

Most of these buildings have exceeded their lifespan by many times. Because of the owner's lack of interest, objects haven't got appropriate services for many decades and it is necessary to start the rescue of historical objects for next generations. In the first part of this thesis, I tried to give an idea of the history of brick-built constructions in regard to the development of op fortifying construction. In the second part I tried to describe faults of the chosen construction according to survey and the results of particular laboratory testing.

Obsah:

1. Úvod.....	1
2. Historický vývoj zděných staveb.....	3
2.1. Vývoj zděných konstrukcí.....	4
2.2. Cihelné zdivo na našem území.....	8
2.3. Kamenné zdivo.....	10
3. Vývoj opevňovací techniky.....	12
3.1. Počátek opevňování.....	12
3.2. Opevňovací stavby na našem území.....	12
3.3. Budování hradebních opevnění.....	14
4. Stavebně technický průzkum historických zděných staveb.....	16
4.1. Metodika průzkumu zděných historických konstrukcí.....	17
4.2. Historické technologie výstavby zděných konstrukcí.....	18
4.3. Průzkum základů.....	19
4.4. Stanovení pevnosti zdiva.....	19
4.4.1. Stanovení pevnosti zdících prvků.....	19
4.4.2. Stanovení pevnosti malt.....	21
4.5. Trhliny.....	22
4.5.1. Dělení trhlín.....	22
4.5.2. Měření šířky trhliny a jejich změn.....	23
4.6. Vlhkost zdiva.....	25
4.6.1. Možnosti vniku vody do konstrukcí a způsobené vady.....	26
4.6.2. Měření vlhkosti.....	28
4.7. Degradáční procesy.....	29
4.7.1. Druhy degradačních procesů.....	30
5. Předběžný stavebně technický průzkum části cihelných hradeb v Olomouci.....	32
5.1. Analýza historických podkladů.....	32
5.2. Předběžný průzkum.....	33
5.2.1. Zkouška objemové hmotnosti.....	34
5.2.2. Zkouška nasákavosti.....	34
5.2.3. Zkouška pevnosti pomocí Kučerovi vrtačky.....	35
5.2.4. Zkouška pevnosti v tlaku.....	38
5.3. Výpočtový model.....	38
5.4. Zhodnocení výsledku.....	39
6. Závěr.....	41
Seznam informačních zdrojů.....	42
Technické normy.....	42
Literatura.....	42
Internetové adresy.....	42
Seznam obrázků.....	43
Seznam tabulek.....	43
Výkresová část.....	44
Seznam příloh.....	44

Seznam zkratek

ČKAIT Česká komora autorizovaných inženýrů a techniků

ČSN Česká státní norma

EN Evropská norma

ISO Mezinárodní norma

m Hmotnost [kg]

V Objem [m³]

w Vlhkost [%]

pH Kyselost

t Teplota [°C]

1. Úvod

Počátky důkladných průzkumů památek, které se u hodnotných historických staveb snažily určit jednotlivé stavební fáze, lze datovat v českém prostředí do 19. století, kdy rozpoznání vývoje stavby sloužilo architektům jako podklad pro její obnovu. Za skutečného zakladatele moderních průzkumů památek můžeme označit posledního „stavitele“ Svatovítské katedrály Kamila Hilberta, který povýšil průzkumy na samostatné stavební odvětví. Z průzkumů jednotlivých staveb se stávaly samostatné dokumenty, které byly publikovány. Jako například rozsáhlá studie o mělnickém kostele v Památkách archeologických z roku 1916.

Asi největší vliv na poválečný rozvoj metody Stavebně-historického průzkumu měl Dobroslav Líbal. Tvůrčí dialog jednotlivých specializací vedl k vytvoření samostatné „školy“, kterou od 60. do 80. let prošla řada významných historiků architektury. Líbalova metoda týmové mezioborové práce tak byla úzce propojena s dějinami architektury. Šlo o to, aby jednotlivé stavby byly brány jako celek a mezioborový dialog se tak stal určitým poznávacím znamením velké části celé jedné generace historiků architektury. V rámci Líbalova ateliéru docházelo k určité specializaci jednotlivých badatelů, díky kterým se vyvinulo několik zajímavých a v principu vzájemně se doplňujících směrů, které charakterizoval například zájem o filosoficko-teologické souvislosti architektury (Mojmír Horyna), analýzu konstrukčních principů a strukturu stavby jako takové (Jan Muk), či velmi důležitý zájem o historické konstrukce a původní řemeslné prvky (Jiří Škabrada). Společným znakem však vždy zůstalo silné povědomí ucelenosti tématu i role dějin umění jako jeho jednotícího prvku.

Z hlediska památkové péče je nutné provádět stavebně technické průzkumy památkově chráněných objektů, tak aby mohly být obnoveny a užívány vhodným způsobem. Stavebně technický stav historických staveb má určitá kritéria:

- Konstrukce, které svým stářím výrazně překročily svou životnost.
- Konstrukce, které byly prováděny speciálními historickými technologiemi a byl do nich použit specifický materiál odpovídající době a místu výstavby, které je nutné dobře rozpoznat a posoudit.

- Při provádění stavebně technického průzkumu dbáme na to, aby byly použity destruktivní zkoušky jen ve velmi malé míře.
- Česká republika má na svém území velkou řadu historicky cenných stavebních památek, velká část byla znehodnocena přestavbami. Šlo především o stavby církevní a původní šlechtická sídla, které mnohdy sloužily jako skladovací prostory, kasárna, vězení, školy apod.
- Pro sanaci památkových staveb platí přísná kritéria při použití sanační technologie a materiálu.

Kvůli značné odlišnosti provádění technických průzkumů u historických staveb je v následujícím textu uveden přehled zděných konstrukcí, materiálových charakteristik historického zdiva, dále metodika provádění technického průzkumu s náležitým výčtem zkušebních metod. V poslední části této bakalářské práce je zaznamenána praktická část: Předběžný stavebně technický průzkum hradebních zdí v Olomouci.

2. Historický vývoj zděných staveb

Historické zděné stavby nemají u nás takovou tradici, jako je tomu v jiných zemích. Zděné stavitelství a jednotlivé konstrukce jsou na našem území postaveny podle cizích architektur. První základ zděného stavitelství byl položen ve středomoří, ale největší rozmach zažívá v době antického Říma a to hlavně co se velikosti stavby týče. Ta se v pozdější době už jen napodobovala bez větších úprav. Nejvíce stavitelů k nám přicházelo od 16. století, stavělo se především ve stylech: vlašském, vídeňském, nebo ve stavebním stylu používaným v okolí Francie. Místní zdroje stavebního materiálu nebyly jediné faktory, které ovlivňovaly výstavbu zděných konstrukcí, důležitým faktorem bylo také sociální postavení stavebníka. Závěrečná povrchová úprava měla funkci ochrany stavby před povrchovými vlivy a zároveň to byl způsob, jak se stavitel mohl esteticky vyjádřit.

Vápenná malta byla výhradním stavebním pojivem od románských staveb až do konce 19. století. Pálila se v místech přírodního výskytu pomocí dřevěného uhlí a to až do 2. poloviny 19. století a teprve po výpalu se odvážela na stavbu, která byla mnohdy i ve velké vzdálenosti. Středověká malta, zejména ta gotická je velmi kvalitní. U některých konstrukcí se lze setkat s maltou hliněnou s obsahem vápna až v povrchové části zdiva. V rámci úsporných opatření se příměs vápna lišila podle velikosti stavby a míry zatížení. Některé venkovské stavby se zdily na sucho, zcela bez pojiva. V tomto ohledu byly venkovské stavby maximálně úsporné – ohradní zdi z kamene kladené na sucho s korunou a s drnováním, běžné, méně zatížené zdivo, pečlivě kladené na hliněnou maltu a vápno vyskytující se až v omítce. Po prohlídce jedné jediné stavby můžeme nalézt několik druhů malt podle toho, jestli se jedná o namáhanou část konstrukce nebo ne.

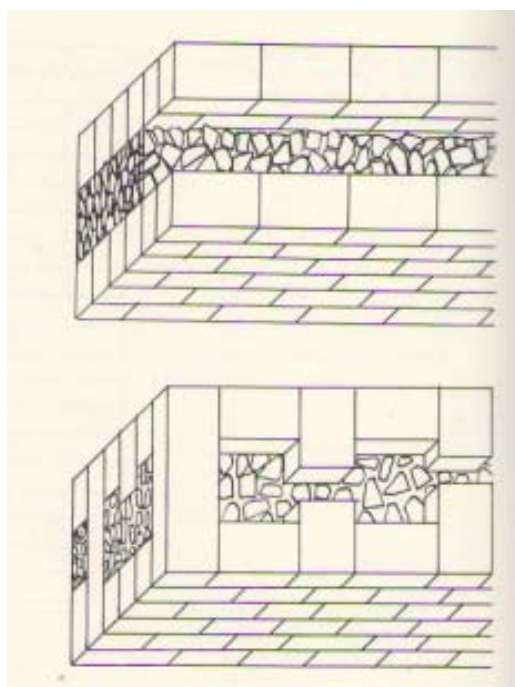
Dalším stavebním pojivem ve starověku, v době římské říše byly pucolány. Bohužel se tyto látky na našem území nevyskytovaly. Tato přírodní hydraulická látka složená z jemného písečného sopečného popela byla objevena u města Puzzoli, blízko Neapole. Římský architekt Vitruvius zmiňuje čtyři druhy pucolánu: černý, bílý, šedý a červený, které lze nalézt v sopečných oblastech Itálie.

Nejčastějším a zároveň nejstarším pojivem bylo vápno. Nejstarší archeologický nález vápenné omítky je již z 9. až 8. tisíciletí před naším letopočtem v Asii. U nás se vápno začalo užívat s příchodem křesťanství kolem roku 900. K jeho většímu rozšíření však došlo až za vlády Karla IV, kdy se vypalovalo vápno na obou březích Vltavy. Původně se vypalovalo v milířích a milířových pecích, až v 19. století se pálení přesouvá do šachtových a kruhových pecí.

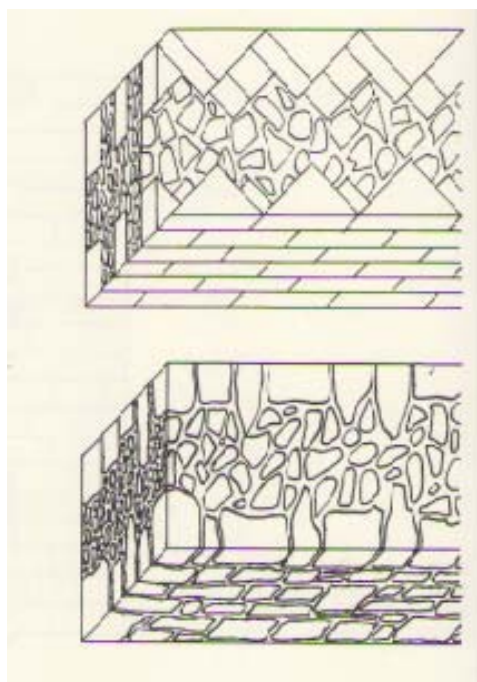
2.1. Vývoj zděných konstrukcí

Prvním zdicím materiálem byli nepálené cihly. Ty se používaly již 15 000 let před naším letopočtem na území dnešního Turecka. Jejich výroba nebyla nikterak náročná, nechaly se jen vysušit na slunci. Z objevených vykopávek v oblasti Mezopotámie, území dnešní Antonie a Iránu je patrné, že již před 7 000 lety před naším letopočtem se používaly pálené cihly. U nás se první pálené cihly začaly vyrábět na přelomu 14. a 15 století našeho letopočtu. Nejstarší kamenné zděné zdivo se začalo užívat v období antiky a bylo z tesaného kamene. V té době se stavěly veliké, konstrukčně náročné stavby. Zdi tvořily dvě vnější konstrukce z tesaného kamene, jejichž střed byl vylit tekutým zdivem s menšími úlomky kamene. Tento způsob byl méně náročný než stavět konstrukce celé z tesaného kamene a umožnil zpracovat i značné množství odpadu, které nebylo možné použít do vnější konstrukce - viz. obr. č. 1 a 2

Obr. č. 1



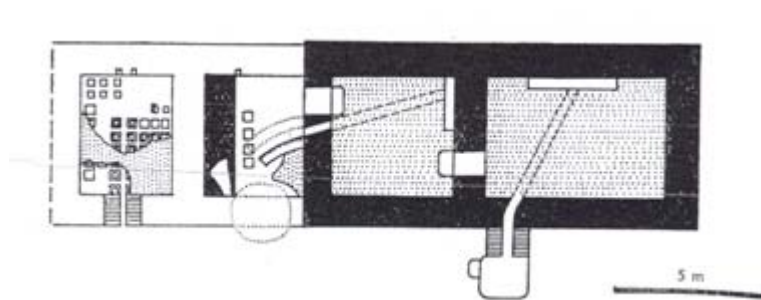
Obr. č. 2



Obrázek č. 1 Provedení zdiva z vnějších zděných lícových ploch a litým středem – řecký emplekton [4]

Obrázek č. 2 Zdění na tzv. římský způsob s litým středem – provedení z cihel a kamene [4]

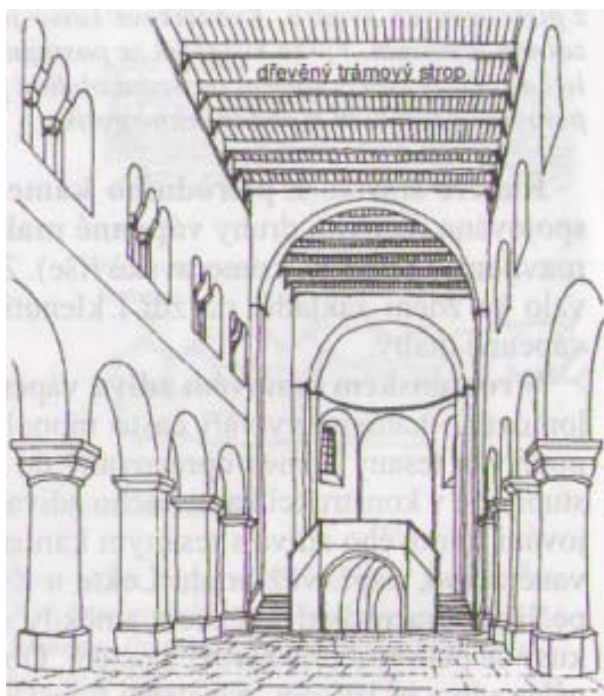
Nejstarší zjištěné zděné stavby na našem území se datují do druhé poloviny 2. století našeho letopočtu. Jedná se o římský pochodový tábor v lokalitě Mušov na jižní Moravě, který byl za markomanských válek postaven na dřevěném germánském sídlišti. V lokalitě Na Pískách byly nejprve leteckou prospekci a poté ověřovacími výzkumy odhaleny celkem čtyři takové římské polní tábory, z nichž největší zaujímal plochu 38 ha. V této archeologické lokalitě jsou pozůstatky opevněných hradeb, obytných budov i římských lázní. O skutečné podobě těchto táborů lze jen spekulovat, většina staveb byla rozebrána a stavební materiál byl použit na výstavbu pozdějších místních staveb.



Obrázek č. 3 Schéma velitelské pevnosti z oblasti římského tábora Mušov [12]

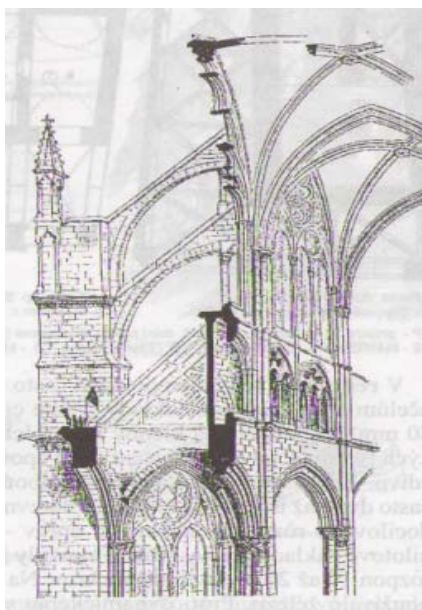
Historický vývoj zděných staveb

Charakteristickým znakem románské stavby jsou zděné stěny z kamene, hlavice a klenby. Používané zdivo je především kvádříkové z tesaného kamene navazující na římské zdivo. U širokých zdí se vyzdávaly jen lícni části stěn s vnitřním jádrem ze zdiva lomového, používalo se i zdivo klasové. Z románského lomového zdiva bylo za pomoci vápenné malty vytvořeno monolitické zdivo. Ve zdivu byl už použit také tesaný kámen opracovaný do kvádříků a kámen profilovaný. Výška kvádříkových řad byla pravděpodobně dána výškou vrstev odlučnosti v kamenolomech. Postupem času se v konstrukci kamenného zdiva vyvinula řada způsobů zdění a spojování lomového kamene s tesaným kamenem a cihlou. Velký význam u románských staveb mají pilíře, nejčastěji rozdělené na 3 části - sokl, dřík a hlavice. Nejvíce proměnami prošla tehdy hlavice sloupu, někdy byla ve formě seříznuté krychle jindy byla korintská – viz. obr. č. 4. Nad hlavicemi se uplatňovali náběžníky. Okna jsou ukončena půlkruhově a ostění bylo sešíkmené kvůli lepšímu prosvětlení. Často jsou řešena sdružením dvou až pěti oken se střednicovými sloupky nebo s oblouky které jsou odlehčené. Další formou oken v době románské byly tak zvané rozety, které se nejčastěji umísťovaly nad vchodem. Klenby v této době byly valené, křížové s rovnou i stoupající vrcholnicí, klášterní a konchy u apsid. V českých zemích se nejčastěji jako stavební materiál používala opuka, její opracování bylo velmi snadné i přes tehdejší primitivní nástroje. Opuka byla postupně nahrazována pískovcem a to z důvodu, že pískovec měl větší odolnost vůči povětrnostním vlivům.



Obrázek č. 4 Axonometrie románské chrámové lodi s pilíři [3]

Gotika plynule navazuje na románský sloh v druhé polovině 12. století a trvá až do 15. století. V období gotiky se stavěly především katedrály, hrady, radnice, mosty a měšťanské domy. Díky důmyslné konstrukci opěrného systému křížové klenby jsou



stavby hnány do výšky. Nejtypičtějším znakem gotiky je lomený oblouk vysokých oken, které mají někdy výšku až deset metrů – viz. obr. č. 5. Jako materiál se stále používá tesaný kámen, jen používají se kvádry větších rozměrů. Lomový kámen se používá jen v ojedinělých případech například do částí, které jsou velmi namáhané tlakem. Soudržnost je zajišťována velmi kvalitní vápennou maltou a přípojevacími prvky.

Obrázek č. 5 Chránová stavba s gotickými křížovými klenbami s lomeným obloukem [3]

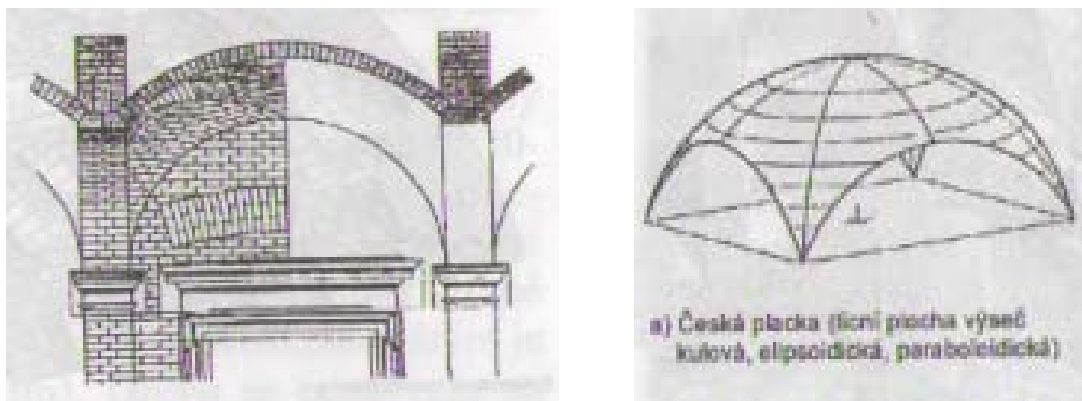
V renesanci se začínají konstrukce odlehčovat zejména zúžením zdí, což má za následek výstavbu úzkých vysokých městských domů – viz. obr. č. 6. Používání kamene pomalu ustupuje do pozadí. Kámen se vyskytuje jen ve zdivu a na některých dekoračních prvcích. Mimo cihel se používá ke stavbě kleneb keramických tvárnic, speciálních keramických tvarovek na římsy, ostění oken a jiné. Začíná se uplatňovat režné zdivo. Stěny z cihel jsou nejčastěji omítnuté z obou stran, na vnější straně dvou až třívrstvou omítkou- sgrafito.



Obrázek č. 6 Měšťanské renesanční domy s podloubím [3]

Hlavním stavebním materiálem baroka se stává cihla. Z pálené hlíny se dále vyráběly hlazené desky, obklady a prejzy. Zděné konstrukce byly opatřovány vápennými omítkami nebo štukem velké tloušťky. Klenby jsou nejčastěji klenuté nebo zavěšené nad oválnými půdorysy. Stavby z vrcholného baroka jsou typické svoji značnou

tloušťkou omítek, které spolu se štukem dávaly stavbám konečný výraz. Bosované zdivo se používalo jen velmi výjimečně. Svislé nosné konstrukce byly prováděny jako zděné stěny prolomené okenními nebo dveřními otvory a portály. Pruské klenby, české klenby a české nízké placky se z klenbových konstrukcí používaly nejčastěji – viz. obr. č. 7.



Obrázek č. 7 Příklad zaklenutí prostou českou klenbou [3]

Klasicismus se vyznačoval používáním kopulí, které převzal z římského stavitelství. Kámen se používal výhradně na základové a soklové zdivo. V tomto období se nejčastěji staví činžovní domy, ve kterých bylo užito segmentových kleneb valených do zdí nebo klenbových pásů. Došlo ke zdokonalení výroby cementu a vápna.

2.2. Cihelné zdivo na našem území

Cihly jsou pravidelný, ve formátech připravený materiál z pálené hlíny. S největší pravděpodobností byla na našem území technologie výroby cihel poprvé zavedena v 2. století našeho letopočtu. Z této doby byly nalezeny na jižní Moravě v archeologické lokalitě Mušov stavby které byly vybudovány z pálených cihel - viz. obr. č. 8. První výroba ve větším množství vznikla v klášterní cisterciácké huti. V této huti se nevyráběly jen cihly ale také speciální tvarovky a prvky náročné na výrobu díky jejich složitosti. Ve 14. století bylo poprvé užito ve stavbách jen cihel bez lomového nebo tesaného kamene. Na velkých plochách bylo zdivo stavěno stejným způsobem jako emplekton, tedy cihly se uložily na lícových plochách a zbytek byl vyplněn litím. U lícových zdí nebylo zdivo moc patrné, protože ji ve všech případech skryla omítka. Jedinou výjimkou byly systémy hradebních zdí, nazývané tzv. tereziánským zdivem. Režné zdivo se na našem území začalo používat u běžných venkovských staveb až v době klasicizmu. V tomto období se neomítané

zdivo užívalo i u některých historizujících staveb nebo staveb, kterými byla napodobována například anglická architektura.



Obrázek č. 8 Pálená cihla z 2. století n. l. – archeologické naleziště Mušov [8]

Formáty cihel byly velmi různorodé, protože velikosti cihel pružně reagovaly na poptávku, proto je zařazení do slohového období podle těchto znaků velmi obtížné. Pro klasické zdění tak byly výhodnější větší velikosti, pro klenutí se lépe naopak pracovalo s formáty menšími. Kromě zdiva se cihly využívaly do kleneb a dlažby. Stěnové systémy se stavěly v různých skladbách se snahou pravidelného střídání běhounů a vazáků a s dostatečným provázáním zdících prvků – například vazba křížová, polská a běhounová. Od 14. století se objevují skeletově vylehčené konstrukce z cihlových klenutých pásů. Od poloviny 16. století s velkým přílivem „vlašských“ stavitelů se začalo mnohem více využívat cihel pro klenby i stěnové zdivo. Na stavbách v období baroka jsou cihly běžné a uplatňují se na celém zděném objektu. Při tomto velkém nárůstu užívání cihel se stavitelé snažili hledat materiál na výrobu cihel přímo na staveništi a zřizovali tzv. malé provizorní cihelny. Kvalita cihel se výrazně lišila. Cihly, které měly vysokou kvalitu a malý formát se použily do velmi namáhaných konstrukcí jako například klenby. Naopak cihly s nízkým nebo žádným stupněm výpalu a velkým formátem se používaly například do podlah. Výroba cihel se nakonec ustálila na dvou formátech. První formát se nazýval rakouský a měl rozměry 30x15x7,5 cm. Druhý formát má rozměry 25x12,5x7,5 cm a nazýval se německý. Největší rozmach v historii zdění z cihel začal od roku 1816, kdy byl vyhlášen přísný zákaz výstavby dřevěných staveb kvůli velkému množství požárů, které v této době vznikaly. Již roku 1819 bylo vydáno povolení pálit cihly na

svém pozemku jak k vlastnímu užití, tak k prodeji. Díky těmto dvěma podnětům vzniká velká řada cihelen, které vyráběly vedle cihel i keramické prefabrikáty pro ozdobu průčelí, parapetů a pro stavbu sloupů. V klasicistním období se hojně stavěli plackové klenby. V některých lokalitách, kde byl kámen levnější, než pálené cihly se stavělo z kamene, který byl opracovaný do formátu cihly. Ve druhé polovině 19. století přichází rozvoj vícepodlažních budov, kde bylo užito cihlového zdiva běžným způsobem, s ustáleným zeslabováním směrem vzhůru o 15 cm, případně 7,5 cm ob patro.

2.3. Kamenné zdivo

Tesaný kámen byl jeden z prvních materiálů užívaný ke zdění větších staveb na našem území. Je však sporné, jestli se u nás tesaný kámen z lícového zdiva nepoužíval spíše jako obklad než jako zdivo, protože zatím co líc je proveden precizním způsobem, u vnitřního zdiva už tolik preciznosti nenalezneme. Takto lze vnímat tvorbu kamenných líců, zejména mladších mramorových, u evropského kamenného stavitelství, kde se jádro a precizní líc nemuseli stavět současně. Tesaný kámen je materiál používaný ke zdění výhradně v době románské. Románské zdivo bylo řádkové a kvádríkové později pak kvádrové. Řádkové zdivo představovalo snahu pokládat prvky stejné výšky po celé délce řádku, přitom výška dalšího řádku může být jiná. Stavby konstruovány v tomto období jsou z materiálu, který nabízela oblast výstavby, jedná se tedy o pískovec, vápenec, mramor a opuka.

Lomový kámen se používal převážně od dob gotiky. Lomové zdivo bylo tvořené nepravidelnými, většinou plochými kusy, kladené na největší plochu stranu s vazbou a spojen různým pojivem, v některých případech na sucho. U historických staveb se kámen vždy klade na jeho největší plochu, protože tzv. stojící kámen je takřka nemožný. Pevnost zdiva závisí na pevnosti užitého kamene, způsobu jeho skladby a kvalitě použitého pojiva. Zdivo u občanských staveb se téměř vždy omítalo. V některých úsecích lomového zdiva jsou patrné různé způsoby kladení zdících prvků, které mohou být považovány za zazděné otvory. Důvodem takového kladení bylo obkročování méně únosných částí a svedení zatížení do míst spolehlivě únosných. Tímto způsobem může být vytvořena jakási pevnější kostra zdiva, ztužující stěnou soustavou navenek nevystupujících pásů a podpor. Lomové zdivo může obsahovat větší či menší příměs cihel. Takovéto zdivo se pak nazývá smíšené

zdivo. První případy takového zdiva jsou nalezeny již z dob gotiky, kde byly mezi kamenem jen ojediněle použity kousky cihel. Podíl cihel ve smíšeném zdivu postupně stoupá v následujících obdobích jako je renesance, baroko a klasicismus.

3. Vývoj opevňovací techniky

Opevňování sídlišť v různých oblastech a časových periodách provází lidské dějiny již několik tisíciletí. Opevňovací techniky, které využívají běžných přírodních zdrojů, zejména různých zemin, dřeva a kamene, najdeme už v nejstarších kulturách. Opevněná sídliště se budovala v řadě nepropojených období. Již v období rozmachu tzv. popelnicových polí v mladší a pozdní době bronzové byli známi všechny základní principy stavby fortifikací bez užití malty, které se rozvinuly v následující časové linii.

3.1. Počátek opevňování

Na našem území se mimo jiných typů fortifikací již ve starší době bronzové setkáváme se skořepinovou hradbou s kamennou zdí i bez ní. Vrchol tradičního obranného systému jak na našem území, tak v jiných lokalitách představují hradby keltských oppid. Kde se nejúčinněji uplatnila konstrukce s čelní kamennou plentou, u nás často posílena svislými sloupy, zatímco ve výztuži dominovaly rošty či komorovité rámy. Raně středověkému fortifikačnímu stavitelství byla za vzor římská vojenská architektura. Většina velkých stalých opevnění měla vývoj rozdělen do několika fází. V první fázi bylo stavěno ze dřeva a hlíny, velmi užívaná u pochodových táborů. V druhé mladší fázi byla opevnění již zděná. První linie obrany tvořily vždy hrotité příkopy.

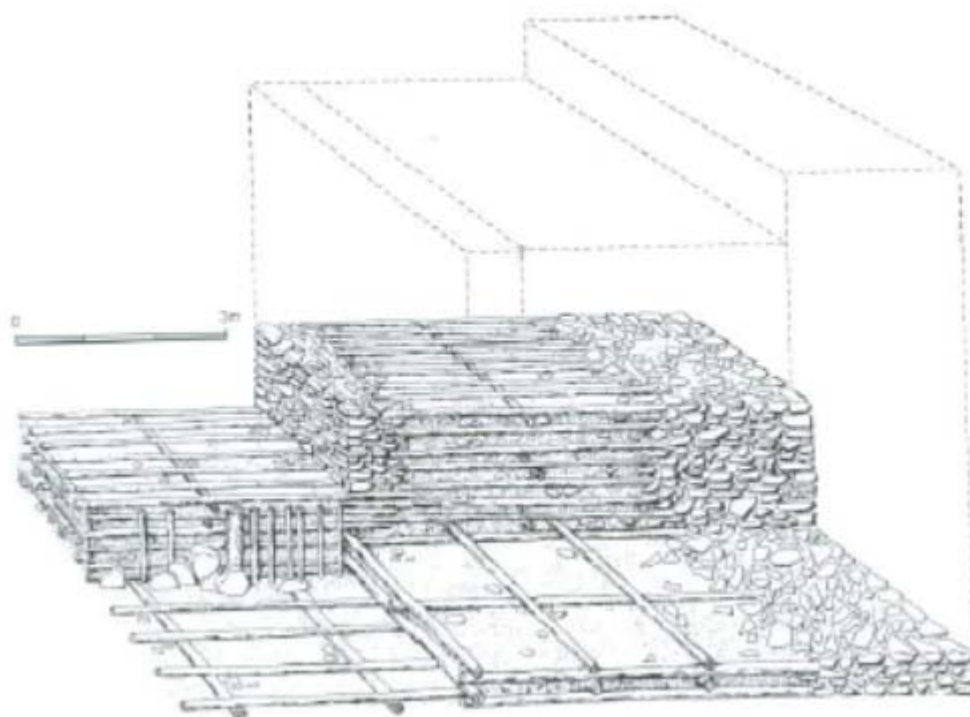
3.2. Opevňovací stavby na našem území

Stejně jako v četných dalších oblastech nepředstavují ani v Čechách jednoduché fortifikace souvislý časoprostorový horizont. V některých případech se obecně předpokládá využití bývalých pravěkých opevnění. Ve středních Čechách byly rozlišeny tři fáze vnitřní příčné hradby. Před rokem 800 byla první fáze tvořena dvěma řadami sloupů, o šířce zhruba 6. metrů, chyběla zde však zemní tělesa. Jednalo se o lehká opevnění tvořená z dřevěných stěn i na vnějších příčných valech. Jejich časové zařazení je však nejisté.

Další dvě fáze skořepinové konstrukce s kamennou plentou a vnitřní dřevěnou zdí náleží patrně pozdějšímu období. Palisáda odpovídá období kolem roku 800. V

pozdějším období hraje palisáda spíše doplňkovou roli. Skořepinová konstrukce ze dřeva a hlíny se svislými dřevěnými stěnami v líci byla prokázána zatím jen v několika regionech, a to jen výjimečně. Největší rozmach zažila skořepinová konstrukce s kamenným čelem a dřevěným vnitřním bedněním na přelomu 8. a 9. století. Rané Čechy jsou zemí, kde tento typ fortifikace zcela převládl. První fáze je definována vnitřní hradbou akropole s čelní zdí o síle 1 metr a vnitřní dřevěnou stěnou o šířce 3 metry, která ji vyztužovala. Tato konstrukce se začala užívat v druhé polovině 9. století. Na základě analýz historické situace se podařilo objasnit i následný vývoj opevnění. Druhá etapa z po první polovině 10. století měla již jinou konstrukci. K starší hradbě byla přistavěna komorová sekce, opět vymezená vnitřní sloupovou stěnou, její šířka dosáhla 6-7 metrů. Konečná třetí fáze z přelomu 10. a 11. století, trvající do poloviny 11. století představuje již typickou pozdně přemyslovskou hradbu o šířce 12-13 metrů, s kamennou zdí, avšak zasunutou oproti předchozí o 3 metry dovnitř. Patrně před polovinou 12. století byla tradiční fortifikace vystřídána tzv. soběslavskou hradbou zděnou na maltu. S rozvojem hradní soustavy zaznamenala velký rozvoj i opevňovací technika. Až do 12. století pokrývají naše území síť hradů různorodých funkcí a významu. Dominantní postavení zaujala masivní skořepinová hradba s kamennou plentou, často kombinovaná roštovou výztuží – viz. obr. č. 9. Velmi často se stavěli i vnitřní zídky. Na místo kruhových hradeb vznikaly postupně obranyschopnější systémy s věžemi, příkopy a padacími mosty. Objevilo se cimbuří a střilny. Vznikala jakási teorie o tom, jak "vykrývat prostor", obranné systémy měly nečastěji tvar čtyřúhelníku, méně často osmiúhelníku. Po roce 1150 se ve stavbě opevnění stále méně používá dřevo, i když jeho vytlačování probíhá poměrně pomalu. Kolem roku 1200 se však vojenská architektura stala stejně propracovanou jako stavby církevní, některé pevnosti bývaly dokonce budovány rychleji než katedrály. Zajímavou informací je, že účinné opevnění dokázala řada měst vybudovat velmi rychle. Někdy se pokládalo za jednodušší je rovnou strhnout a vybudovat opevnění nové. Ve stejné době se začaly opevňovat i venkovské usedlosti. Vrcholný středověk se nazývá zlatým věkem hradů. Před hradbami byl vodní příkop, který nejen zabraňoval útočníkům v přímém postupu k hradbám, ale hlavně chránil hrad proti nepřátelským podkopům. Věže byly většinou kruhového půdorysu, neboť tyto věže byly odolnější vůči útokům i podkopům. Brány byly silně opevněné, měly padací most a jednu či dvě padací mříže. Hrad byl samozřejmě soustředného typu a byl budován na vyvýšenině. Na

takovéto obrané zesílení musela reagovat i obléhací technika. Katapult „trebuchet“ byl prvním originálním obléhacím dílem středověku. Byl vynalezen ke konci 12. století a masově se začal používat ve století 13. a 14. Nakonec začala být používána děla, která změnila charakter středověkého válčení a to znamená konec hradů a tím i středověké obléhací techniky.



Obrázek č. 9 Vnější hradba 10.-12. stol.- Plášťová nahoře skořepinová hradba s masivní čelní zdí horizontálně kombinovaná roštová výztuž. [5]

3.3. Budování hradebních opevnění

Hrad byl jedinečnou středověkou stavbou a existence hradů je s tímto obdobím pevně spjata. Hrad vznikly v 10. století a jejich význam zanikl v průběhu 16. století. Hlavním důvodem zániku hradů byl objev střelného prachu a vynález děla. Hrad měl mnoho funkcí. Chránil své obyvatele, střežil obchodní cesty a sloužil jako opěrný bod všech armád. Hrad byl budován na co možno nejmenším území, což přinášelo mnoho výhod. Stavba hradu byla levnější, bylo zapotřebí méně vojáků na jeho obranu a útočník měl na výběr méně míst k útokům. Je těžké určit s přesností vznik prvních hradů. Zatím nejstarší objevený hrad byl postaven okolo roku 950. Nacházel se ve Francii a jmenoval se Doulé-la-Fontaine. Vzhledem k tomu, že jejich opevnění

tvořily náspy ze zeminy, příkopy a palisády, byl tento typ opevnění velmi levný a mohl být vystavěn i během válečného tažení. Nevýhodou opevnění ze zeminy bylo to, že byly zapotřebí časté opravy (náspy rychle chátraly). Opevnění tohoto typu se nazývalo motte-and-bailey, přičemž motte znamená pahorek a bailey vnější opevnění či hradní nádvoří. Zkrácený název zní motte. Stejně jako u hradů kamenných je těžké určit původ či vznik opevnění motte. Z opevnění motte se po určité době stávaly kamenné hrady. V jedenáctém století se začaly hromadně stavět kamenné hrady a opevnění motte přestalo být využíváno. Zvýšení počtu hradů bylo zapříčiněno stabilizací Evropy a evropských států, které se kamennými hrady snažily udržet svá území. Určitý pokrok byl zaznamenán i v obranné technice. Byly zde také zavedeny prvky byzantské a arabské obranné techniky, které si s sebou přivezli křižáci, když se vraceli z křížových výprav. Raně středověký hrad byl vystavěn z kamene, ale výjimkou nebyla ani syntéza kamenných a zemních prací. Hrad té doby postrádal vodní příkop, padací most, padací mříže a opevněné brány, které se staly nedílnou součástí vrcholně středověkých hradů. U raně středověkých hradů byl kladen největší důraz na poslední pás hradeb a především na hlavní hradební věž. Právě u hlavní hradební věže byl obvykle sveden nejtvrdší boj. U vrcholně středověkých hradů znamenala hlavní hradební věž poslední místo záchrany. Většina vrcholně středověkých hradů měla dvojité hradby a společně s několika dalšími prvky tak tvořily soustředné hrady. Vnější hradby byly nižší než hradby vnitřní. Bylo tak učiněno proto, aby byla možná snazší obrana hradu. Byla tak zaručena podpora obléhaných jednotek střelbou z vyšších hradeb.

4. Stavebně technický průzkum historických zděných staveb

Stavebně technický průzkum je vyhodnocení technického stavu, kvality a funkční způsobilosti zkoumaného objektu. Objekt hodnotíme jako celek, případně po jednotlivých částech. V konečném shrnutí objektu se zaměřujeme především na statický stav, druh kvalitu materiálů, poruchy a vady, vlhkost a v poslední fázi na stav ostatních konstrukcí a vliv prostředí.

Před stavebně technickým průzkumem se u historických staveb provádí ještě stavebně historický průzkum. Tento průzkum obsahuje soubor všech v dané době vědecky dosažitelných poznatků o historické stavbě. Jeho výsledkem je v obecné mluvě označení „pasport“ – zjednodušená dokumentace stavby.

Průzkum se dělí do několika fází:

- První fáze-

Analýza podkladů se provádí za účelem studie a případných rekonstrukcí nebo přestaveb budov.

- Druhá fáze-

Předběžný stavebně technický průzkum se provádí za účelem získání orientačních zkoušek a hodnocení konstrukcí, stavebních dílů a materiálů. Určení tzv. kritických míst, u nichž se předpokládá vznik vad a poruch. V těchto místech provádíme orientační zkoušky. V závěru navrhujeme postup nebo několik variant postupu.

- Třetí fáze-

Výpočtový model nosné konstrukce se provádí na základě výsledků předběžného průzkumu. Pokud vypočtený model neodpovídá skutečnosti, je nutné provádět podrobný průzkum dle plánu určeného předběžným průzkumem.

- Čtvrtá fáze-

Podrobný stavebně technický průzkum, jeho hlavním cílem je poskytnout podklady a základní informace o stavebním objektu pro následující výpočty a řešení. Podrobný průzkum se soustřeďuje na nalezená kritická místa, kde měřením určuje fyzikálně-

mechanické vlastnosti materiálu. Postupuje se dle normy ČSN ISO 13822, Hodnocení existujících konstrukcí. Konstrukce musí vyhovět požadavkům na mechanickou odolnost a stabilitu; požární odolnost; ochranu zdraví a životního prostředí; bezpečnost při užívání; úsporu energií; hygienu, ochranu proti hluku; ochranu tepla a recyklovatelnost

- Pátá fáze-

Závěrečný stavebně technický průzkum zpřesňuje a doplňuje chybějící technické údaje o materiálech a konstrukcích. Zhodnocuje závažnost poruch z návrhových úprav a změn. Pro doplňkový průzkum se používají nejčastěji zkoušky in situ. Jsou to nejspolehlivější zdroje informací. Závěr hodnotí celkový stav objektu a obsahuje také navrhované opatření.

- Šestá fáze

Odhad životnosti provedené sanace.

4.1. Metodika průzkumu zděných historických konstrukcí

U historických konstrukcí je nutno uvážit, že stáří těchto staveb je mnohonásobně větší než plánovaná životnost dnes stavěných konstrukcí. S ohledem na jejich historickou hodnotu je patrná snaha o zachování těchto staveb a to prodloužením jejich životností.

Nejčastější poruchy a vady u zděných staveb:

- Nedostatečné zajištění prostorové tuhosti – provedené pomocí ocelových či dřevěných táhel, v některých případech zcela chybí.
- Historické estetické zásahy, které narušily statiku – vybourání prostupů, odstranění nosných stěn a pilířů
- Složení zděných konstrukcí – konstrukce různé mocnosti a technologie výstavby (např. u litého zdiva nedostatečné vyplnění maltou zapříčiní vznik kaveren).
- Nedostatečné provázání zdiva je rozpoznatelné až po odstranění povrchových úprav, tvoří kritické místa pro vznik trhlin.
- Špatné užívání objektu – některé historické objekty byly určeny pro jiné účely, než byly později užívány z hlediska zatížení.

- Trvanlivost zděných konstrukcí – stanovuje se z počtu zmrazovacích cyklů a odolnosti vůči chemickým vlivům jako jsou dusičnany, sírany a soli.
- Vlhkost zdiva – způsobuje ztrátu pevnosti zdících prvků a po delším časovém intervalu dochází k jejímu úplnému rozpadu.
- Působení povětrnostních vlivů – dobrá povrchová úprava může mít velmi kladný vliv na odolnosti vůči větru a dešti

Hodnocení existujících zděných konstrukcí se provádí pomocí normy ČSN ISO 13822.

4.2. Historické technologie výstavby zděných konstrukcí

Historické zdivo bylo budováno z kamene, cihel nebo spíšeného zdiva v různých poměrech cihel a kamene. Zděné konstrukce tvořené tímto materiálem byly vesměs stěny, pilíře, sloupy, klenby, základy a různé pomocné konstrukce. Pojivem těchto konstrukcí byla skoro vždy vápenná malta, která se vkládala do spár.

Maltové lože dělíme na 3 druhy spár:

- ložné – vodorovná spára rovnoběžná s ložnou plochou zdícího prvku
- příčné – kolmá k ložné spáře
- podélné – svislá spára rovnoběžná s lícem stěny

Podle polohy cihel dělíme cihly na běhouny (uložená ve stěně na délku) a vazáky (umístěny svou delší stranou kolmo k líci stěny). Dále je u jednotlivých druhů zdiva nutné dbát na dostatečné provázání zdících prvků. Nároky na vazbu jsou následující:

- překrytí styčných spár musí být v každé vrstvě o $\frac{1}{4}$ až $\frac{1}{2}$ cihly.
- tlak musí působit kolmo na ložné spáry.
- zdí se výhradně z celých cihel, při potřebě menšího formátu se může použít $\frac{1}{2}$ cihly nebo $\frac{1}{4}$ cihly, je přísný zákaz užívání úlomků cihel v konstrukci

4.3. Průzkum základů

Základy hrají v posuzování konstrukcí velmi významnou roli. Při jejich budování se musíme ohlížet nejen na místě výstavby, ale musíme počítat i s typem konstrukce.

Při hodnocení základů postupujeme následovně:

- zjištění základových poměrů-dokumentace o provedených průzkumech (hydrogeologické, geologické)
- posouzení reliéfu-jestli nedochází k pohybu a naklánění konstrukce z důvodu svažitosti terénu
- určení hloubky založení, technologie provedení a materiálové charakteristiky-pomocí kopaných sond až na základovou spáru
- zjištění vlhkosti-způsob přenosu vlhkosti, kumulace, větrání a průběh degradačních a korozivních procesů

Průzkum se provádí jako celek, ve kterém se zjišťuje přenos zatížení do základové spáry, únosnost základové půdy, průběh vlhkosti a vztahy mezi budovou a okolním prostředím.

4.4. Stanovení pevnosti zdiva

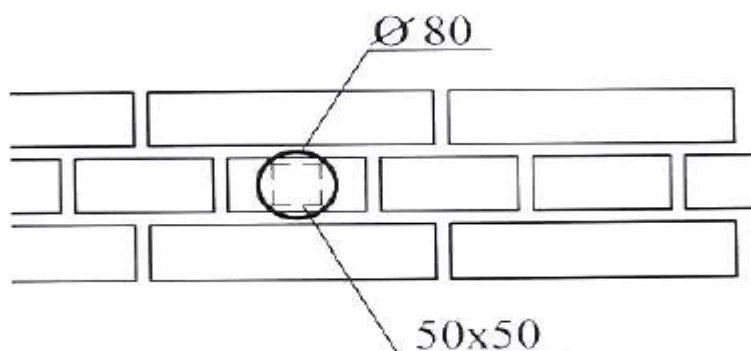
Pevnost zdiva je závislá nejen na pevnosti zdících prvků, ale také na pevnosti spojovací malty. Proto musíme posuzovat oba parametry. Dle vzorců uvedených v normě ČSN ISO 13822 je z naměřených hodnot pevnosti zdících prvků a malt možno vypočítat charakteristickou a návrhovou pevnost zdiva.

4.4.1. Stanovení pevnosti zdících prvků

Pomocí destruktivních a nedestruktivních metod zjišťujeme vlastnosti zdících prvků, jaké jsou např.: rozměry, tvar, objemová a měrná hmotnost, pevnost v tlaku a nasákavost.

Určení pevnosti na celých zdících prvcích podle normy ČSN EN 772-1, vyžaduje minimální počet vzorků 6 kusů, podle velikosti objektu je dobré tento počet upravit.

Norma rovněž připouští zkoušení reprezentativních částí prvků, a to v případech, kde se jedná o zdící prvky větších rozměrů. Ve výsledku je do pevnosti připuštěna přirozená vlhkost zdícího prvku. Ve velké části případu nelze odebrat celý neporušený prvek a tak se přistupuje k provedení jádrového vývrtu (většinou průměr 50-80 mm). Nevýhodou tohoto způsobu je, že směr zatížení v lisu se neshoduje se směrem namáhání ve skutečné konstrukci. Naměřená pevnost tak může být jiná než skutečná pevnost.



Obrázek č. 10 Schéma odběru jádrového vývrtu ze zděné konstrukce [10]

Pevnost prvků lze určit i nedestruktivními metodami, ve všech případech se jedná o různé přístroje, které jsou určeny pro rychlé získávání ne příliš přesných výsledků.

Nedestruktivní metody:

- „**Schmidtovo kladívko typu LB** – patří mezi odrazové tvrdoměry. Na obroušeném povrchu se provede nejméně 5 měření, přičemž žádné by se nemělo lišit o 20% od aritmetického průměru. Vztah mezi tvrdostí cihel a pevnosti v tlaku se může lišit, proto se doporučuje určit kalibrační vztah u odebraných vzorků na základě poměru mezi destruktivní a nedestruktivní zkouškou. Touto metodou se zkouší převážně plné pálené cihly, u tvarovek jsou výsledky ovlivněny otvory uvnitř prvků. “ (MURÍNOVÁ, VŠB-TUO, 2009) [7]

- „**Waitzmannův tvrdoměr** – založen na principu vtisku. Jedná se o upravené kladívko Poldi s dvěma kuličkami o průměru 10 mm a 20 mm, kdy po vyvození rázu se menší kulička vtiskne do ocelového proužku známé tvrdosti a větší způsobí otisk přes papírovou fólii do zdícího prvku. Porovnáním těchto vtisků zjistíme výslednou

pevnost prvku. Tato metoda je poměrně přesná, vyhodnocení výsledků je však pracné, a proto se v praxi používá zřídka“ (MURÍNOVÁ, VŠB-TUO, 2009) [7]

4.4.2. Stanovení pevnosti malt

Pevnost malty můžeme určit dvěma způsoby. První způsob je určení pevnosti malty v laboratoři. Tento způsob se používá méně, protože u takovéto zkoušky potřebujeme velkou tloušťku spáry. Druhý způsob se provádí přímo na stávajících konstrukcích a to několika způsoby:

- Užití nedestruktivních metod je málo pracné a výsledky jsou téměř okamžité, ale pro jejich zpřesnění používáme kalibrační vztahy. Metody provádíme pomocí vtlačování válcového tělesa o průměru 4 mm do maltové spáry, na který vyvozuje rázy kladivem o hmotnosti 1 kg z výšky 10 cm. Problematické je, že výsledek silně ovlivňuje osoba provádějící zkoušku. Může se také používat kyvadlový indentor, který zaručuje stálou energii úderu. Tuto zkoušku je možno provádět i odrazovou metodou - pomocí upraveného Schmidtova kladiva.
- Pomocí chemického rozboru pro určení druhu a obsahu pojiva.
- Použitím metod lokálního porušení – **Kučerova vrtačka** má oproti běžné vrtačce příklep, počítadlo otáček a přítlačnou pružinu zajišťující přítlak. Základním principem této metody je určení vztahu mezi pevností malty a odporu při vnikání vrtáku do malty nebo zdiva. Postup práce: sejmutí omítky, proškrábnutí spár do hloubky 20mm, výběr zkušebního místa (vrty se rozmísťují ve vzdálenostech 40 mm od sebe a 50 mm od okraje, hloubka navrtání se zaměří posuvným měřidlem, hodnoty naměřených pevností v tlaku se porovnávají s kalibrační křivkou nebo tabulkou, minimální počet měření jsou 3.

Pro únosnost historické konstrukce zjišťujeme tyto vlastnosti:

- ztráta stability
- drcení materiálu vyčerpáním pevnosti malt a vliv vlhkosti
- stálý růst přetvoření při konstantním zatížení
- vznik trhlin

Pokud je zdivo ze statického hlediska narušeno, musíme uvážit, jestli je konstrukce z toho hlediska bezpečná a spolehlivě přenáší všechna zatížení působící v konstrukci.

Pokud budeme požadovat zvýšit únosnost sledované konstrukce, musíme užít sanační metody jako např.: zesílením přizděním, obetováním nebo stažení objektu třmínky a jiné.

4.5. Trhliny

Nejčastějšími projevy dynamického a statického zatížení konstrukcí jsou trhliny, porušení namáhaného materiálu, či nadměrné deformace konstrukce. Tyto poruchy vznikají jako výsledek působícího zatížení.

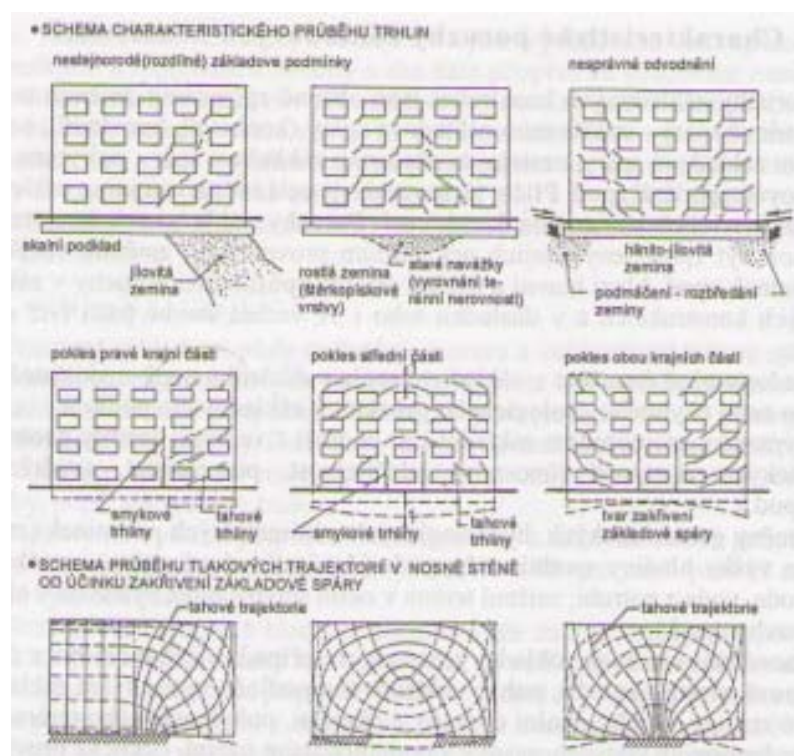
4.5.1. Dělení trhlin

Porušení konstrukce vzniká v místech, kde dochází k největšímu namáhání konstrukce nebo v místech, kde je materiál oslaben skrytou vadou. Při hodnocení trhlin musíme vycházet z jejich průběhu a charakteru. Trhliny ovlivňují i způsob a kvalita provedení zdiva.

Dělení trhlin podle namáhání:

- **Tahové trhliny** jejich charakteristickým znakem je rozevření a objevují se kolmo ke směru tahu, jejich okraje nejsou narušeny.
- **Smykové trhliny** jsou posunuty ve směru normálové síly, jejich okraje jsou porušené od posunutí.
- **Trhliny způsobené od nadměrného tlaku** jsou doprovázeny drcením materiálu, poškozením a odlupováním povrchových vrstev konstrukce. Tyto trhliny se koncentrují v místech největšího tlakového namáhání, u extrémně zatížených prvků a v oblastech plastických kloubů kleneb.
- Po namáhání způsobené **vzájemnou interakcí** dochází k porušení styků a spojů nenosných částí s částí nosnou.
- Trhliny od **sedáním objektu** mají průběh šikmý a jsou ovlivněny různou intenzitou a rychlostí sedání – viz. Obr. č. 11.
- Trhliny způsobené **objemovými změnami** jsou ovlivněny materiálem a jeho teplotní roztažností α .

Trhliny se dále dělí na aktivní nebo pasivní. Aktivní trhлина je taková, u které se v závislosti na čase šířka mění a to v obou směrech. Pasivní trhлина je naopak taková, u které se šířka nemění a čas tu nemá žádný vliv.



Obrázek č. 11 Příklady poruch průčelí budov způsobené rozdílným sedáním [3]

4.5.2. Měření šířky trhliny a jejich změn

Při vyhodnocování stávajícího stavu konstrukce, je nutné v první řadě spočítat trhliny a určit jejich počáteční šířku. V dalším kroku určíme jejich průběh v závislosti na čase. Prvotní šířku stanovujeme optickými metodami nebo metodami radiačními. Z optických metod se používá hlavně příložené měřítko, lupa se stupnicí, měřící mikroskop s nitkovým křížem apod.

Při měření deformací a trhlin můžeme brát konstrukci jako celek nebo můžeme měřit jen posuvy části konstrukce. Přístroje měřící průhyby a posunutí pracují na různých principech.

Dělení přístrojů na měření trhlin:

- Mechanické přístroje fungují na mechanickém principu. Měří deformace s různou přesností čistě náležící, jestli přístroj pracuje na funkci posuvného měřítka,

průhyboměry mostního krabicového systému Frič, nekonečné průhyboměry a indikátorové hodinky.

- Hydrostatické přístroje pracují na hydrostatickém principu, užívají se k měření výškových změn vázaných k pevně určenému bodu.
- Mezi optické měření jsou zahrnuty videometody, nivelace a užití mikrometrů. Analýza digitálního obrazu může být použita jen v případě použití odvezeného převodního poměru, kde se míra zkreslení určí podle známého rozměru.
- Elektrické přístroje převádějí změny délky úhlů na změny elektrických veličin, jedná se o odpor, indukčnost, kapacitu nebo elektrické napětí.

Při měření trhlin používáme přístroje, které určují relativní deformaci v určených místech. Výsledkem takového měření je určení délkových změn a to ať jsou to přírůstky nebo úbytky. V praxi se nejčastěji užívají jen některé druhy přístrojů podle umístění a velikosti trhliny.

Sádrový pásek je nejjednodušší způsob získávání informací o šířkové změně trhliny. Postup je následující:

Na navlhčené zdivo zbavené omítky osadíme destičky na obou stranách kolmo k trhlíně tak, aby destičky přesahovaly na obou stranách 80-100 mm. Tloušťka destičky je asi 10 mm a v místě trhliny se zúží na polovinu pomocí škrabky. Po osazení data a čísla se musí pravidelně kontrolovat a zaznamenávat změny. Kontroluje jen trhliny, které se rozšiřují.

Tenzometry s indikátorovými hodinkami – mechanické, indikátorové

Trny osazené přímo do konstrukce se užívá pro měření delšího úseku. Do konstrukce se na odměrnou vzdálenost osadí ocelové trny (přivaří se, nastřelí se trny se závitovou hlavou atd.), na jeden t se umístí kloubový držák přenosové tyčky, na druhý upínka indikátorových hodinek. Přenosová tyčka se pevně upevní do držáku přenosové tyčky a opře o dotykovou kuličku hodinek, jakýkoliv posun je sledován ručičkou indikátorových hodinek, je však nutné zohlednit teplotní roztažnost přenosové tyčky. Zkreslení vlivem teplotní roztažnosti se může odstranit výpočtem. Dále na obdobném principu funguje i příložný tenzometr nebo extenzometry.

Strunové tenzometry fungují na principu frekvence vlastních kmitů ocelové struny mezi dvěma trny na určené měrné délce.

Odporové tenzometry jeho základem je čidlo, které měří jeho prodloužení. Změny se v prodloužení se převádějí na změny elektrického odporu.

Postup sanace navrhne podle druhu a stupně porušení konstrukce. Zaleží, zda je trhlinami narušen statický stav konstrukce, nebo zda se jedná jen o estetické pasivní trhliny na omítce.

4.6. Vlhkost zdiva

Zvýšená vlhkost zdiva je častou závadou staveb, které byly postaveny před mnoha lety a nemají tedy zabudovanou izolaci proti vztlínání zemní vlhkosti, nebo v důsledku stáří je již tato izolace nefunkční. Z historického hlediska bylo v minulosti nutností, aby stavba byla v blízkosti vody. Tím ale vzniká velká řada problémů s vlhkostí ve stavbě. Jedním z prvních možných opatření pro stavebníky byl výběr vhodného místa pro stavbu. Pokud toho nebylo možné dosáhnout, přistoupilo se k řešení problému jako úprava okolního terénu, dále se užívaly těsnících jílové vrstvy, přísady odpuzující vodu do malt, vkládaly se materiály s vysokým difúzním odporem, častým řešením byly izolační přízdivky s odvětrávanou vzduchovou mezerou, izolace podlah vzduchovými dutinami,

vzduchové kanálky. Projevy vlhkosti je nutné velmi dobře sledovat, neboť včasný zásah může zachránit velkou část konstrukce a tím i ušetřit náklady na rekonstrukci.

Vlhkostí se rozumí obsah vody ve stavebním materiálu, kterou stanovujeme buď jako hmotnostní vlhkost nebo jako objemovou vlhkost.

Hmotnostní vlhkost:

$$W_m = \frac{m_v - m_s}{m_s} \cdot 100\% \quad \text{vzorec A}$$

m_v ...hmotnost vlhkého vzorku v kg

m_s ...hmotnost vysušeného vzorku v kg

Objemová vlhkost:

$$W_m = \frac{V_v}{V_s} \cdot 100\% \quad \text{vzorec B}$$

V_v ... objem kapalné vody v m^3 ,

V_s ... objem vysušené pevné části v m^3 .

4.6.1. Možnosti vniku vody do konstrukcí a způsobené vady

Vlhkost můžeme rozdělovat podle způsobu pronikání do konstrukce na vlhkost:

Voda srážková (atmosférická) způsobuje přímé vlhnutí zdiva např. při tání sněhu nebo deštích stéká po omítce domu. Vlhnutí, které překročí přípustnou mez je nejčastěji důsledkem špatného odvedení vody ze střechy nebo velké množství odstříkující vody s příměsí soli, které způsobují výkvěty. Projevují se velkými nepravidelnými skvrnami.

Kondenzační vlhkost vzniká přeměnou vodních par v ovzduší na vodu kapalnou vně nebo uvnitř stavby. Častou příčinou kondenzace vody na povrchu stěn v místnosti je tzv. tepelný most. Podstatou kondenzace je schopnost vzduchu pojmout při určité teplotě jen omezené množství vodních par. Projevem kondenzace jsou přibližně stejně velké skvrny někdy doprovázeny erozí.

Zemní vlhkost určuje hladina podzemní vody. Vysoké povrchové napětí vody způsobuje v kapilárách vzestup vody proti směru gravitace tzv. vztlínání. Pokud ve

zdivu není izolace nebo je izolace narušená proniká kapilární voda přímo do zdiva. Vzlínáním se projevují mapy o velkém rozsahu, u kterých je šíření od podlahy směrem vzhůru.

Transporty vlhkostí jsou vždy způsobeny stavebními vadami. Rychlost šíření ve zdivu je závislé na umístění stavby, stáří budovy a funkčnosti izolací pokud v budově vůbec jsou.

Příčiny vlhkého zdiva:

- propustné nebo narušené omítky;
- narušení stávajících izolací, nebo jejich úplná absence;
- vysoká hodnota relativní vlhkosti vnějšího nebo vnitřního vzduchu;
- chybějící nebo špatné provedení odvodnění povrchu
- nevhodné technické zásahy v budově nebo jejího bezprostředního okolí
- nedostatečné odvětrávání;
- opatření povrchů nepropustnými nátěry, či obklady;
- změna užívání objektu (vznik vlhkých provozů, problematické v suterénech);
- zanedbání údržby objektu.

Vlhkost ve zdivu nikdy neobsahuje čistou vodu. Mezi její nejčastější příměsi patří soli síranů, chloridů a dusičnany, které následně po odpaření vody zůstanou ve zdivu a vytvoří výkvěty způsobující degradaci. Dojde-li ke krystalizaci solí uvnitř struktury materiálu, zvětší svůj objem a tím vznikne tlak způsobující degradaci zdiva i omítky.

Ve vlhkém zdivu se navíc rozmnožují různé mikroorganismy tzv. biokoroze. Mikroorganismy vytvářejí metabolity, které mohou rozrušovat samotnou strukturu zdíciho materiálu a dále zamezovat difúzi vodních par. S velmi častým výskytem mikroorganismů, konkrétně plísní, se můžeme setkat v místech kondenzace vody a nedostatečného odvětrání.

4.6.2. Měření vlhkosti

Při průzkumu vlhkosti je nutné nejprve provést analýzu podkladů (hydrogeologický průzkum, vodovody, kanalizace, střešní svody, systémy ochrany proti vlhkosti, opravy a rekonstrukce), dále v předběžném průzkumu určit projevy vlhkosti, vlhkostní a tepelný režim budov a orientační určení chemického složení vod. Další krok se týká podrobného průzkumu, ve kterém se provádí konkrétní měření. Vlhkost se může zjišťovat jak destruktivními, tak nedestruktivními zkouškami.

Zásady pro měření vlhkosti:

- Měření se provádí vždy ve třech úrovních.
- Maximální výška měření je 300 mm nad pozorovaným projevem vlhkosti.
- Hloubka měření by měla být přibližně 80 mm.
- Měřena by měla být jak vlhkost zdících prvků tak i malty.
- Měření je závislé na ročním období, proto bychom měli vlhkost zkoumat ve dvou ročních obdobích a to nejlépe na jaře a na podzim.
- Odběr vzorků by se neměl provádět jen v kritických místech, kde je největší pravděpodobnost vlhkého zdiva.

Destruktivní metoda je nejpřesnější metoda jak zjistit vlhkost. Na hmotnostní metodu potřebujeme odebrat vzorky, které ihned po odebrání uzavřeme do neprodyšných sáčků a odvezeme na zvážení do laboratoře. Po zjištění hmotnosti vzorky uložíme do pece na 24 hodin, kde teplota dosahuje 105°C . Vysušené vzorky opět zvážíme a provedeme výpočet viz vzorec A. Při odebrání více vzorku by se měla udělat také zkouška na pH a obsah chloridů kvůli stupni agresivity vody.

Nedestruktivní metoda je méně přesná a užívá se jen v případě, kde nelze odebrat vzorky. Mezi tyto metody zahrnujeme odporovou, kapacitní a radiometrické metody. První dvě metody jsou založené na měření elektrických veličin, elektrického odporu a kapacity. Měření odporovou metodou je citlivé na množství solí a hloubku měření. Pro zpřesnění metod musíme elektrody zabudovat do stěny. Radiometrické metody jsou založené na průchodu, tlumení nebo případném rozptylu částic gama záření u

hmotnostní vlhkosti a moderaci rychlých neutronů u objemové vlhkosti. Konkrétní metoda je např. infračervená termografie.

Zdivo dle vlhkosti řadíme do 4 skupin:

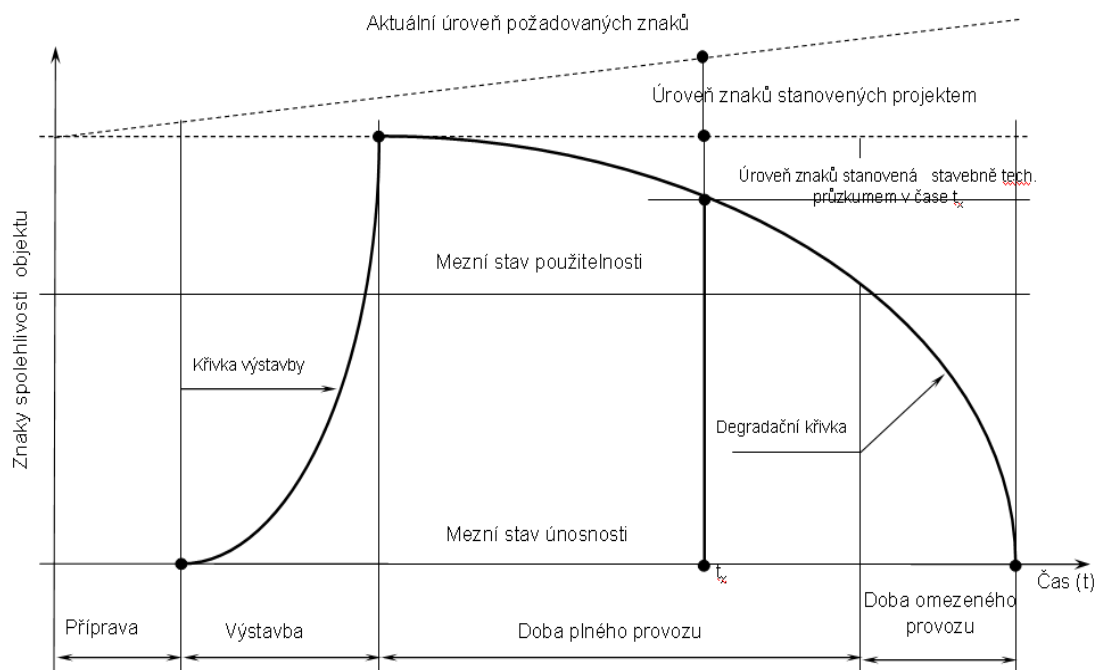
- $w < 4\%$... nízká vlhkost;
- $4\% < w < 7,5\%$... zvýšená vlhkost;
- $7,5\% < w < 10\%$... vysoká vlhkost;
- $10\% < w$... velmi vysoká vlhkost.

Při sanacích historických budov by se měli užít příslušné sanační metody. Pokud není možné užít historický metod je nutné najít příslušnou alternativu, jako jsou např. elektro-fyzikální metody, sanační úpravy povrchu nebo injektáže.

4.7. Degradáční procesy

Vlastnosti jako je rychlost a intenzita degradačních procesů je dána strukturou materiálu, která ovlivňuje transport chemických látek a vlhkosti do zděného zdiva. Degradace zdiva může být způsobena různými činiteli např. působení stálého a dlouhodobého zatížením, cyklické zatěžování konstrukce silové či teplotní nebo vystavení agresivnímu prostředí. Zřetelným projevem degradace je rozpad kusového staviva a malty.

Průběh degradace znázorňuje degradační křivky:



Obrázek č. 12 Degradací křivka [10]

4.7.1. Druhy degradačních procesů

a) Mechanické degradační procesy

Vliv teploty a vlhkosti jsou hlavní činitelé při poškození zdiva mechanickou degradací. Jedná se zejména o cyklické zatížení teplotou vlhkého zdiva, jenž má za následek degradaci celé konstrukce. Cyklická změna teploty vyvolává ve stavivu určité vlhkosti vznik trhlin, jejich šíření a následné porušení zdiva, které nastává dosažením mezních deformací. Výsledné narušení staviva závisí na četnosti a intenzitě zatěžovacích cyklů a na pružně plastických vlastnostech zdiva. Zdicí prvky bývají nejčastěji zatíženy cyklickým zmrazováním, které způsobuje zřetelně patrnou laminární korozi, způsobenou přechodem vody do pevného stavu. Takový tlak v pórech narušuje strukturu samotného materiálu, což má za následek odlupováním povrchových vrstev staviva a degradací malty. Degradace postupuje dále do středu konstrukce, a tím způsobuje konečné rozrušení samotného materiálu. Intenzita zatížení je dána zejména pórovitou strukturou materiálů, množstvím obsažené vody a délkou i intenzitou zmrazovacích cyklů.

b) Chemické degradační procesy

Chemická degradace způsobuje změnu pórovité struktury vlivem působení chemických látek se složkami zdiva, konkrétně méně stabilnějšími složkami pojiva.

Účinek těchto látek na konstrukci spočívá v rozpouštění, migraci rozpustných látek, krystalizaci, rekrytalizaci a následném spolupůsobení s vnějším prostředím. Objemové změny, doprovázející chemické reakce, způsobují vznik vnitřních napětí ve struktuře zdiva, a tím jeho následnou dezintegraci. Na povrchu se často degradace chemickými látkami projevuje ve formě krust a výkvětů. Jednou z hlavních příčin chemické degradace jsou v dnešní době tzv. kyselé deště, což jsou vlastně slabé roztoky kyselin.

Dělení podle chemického složení:

- Kyselé vody - obsahuje volný oxid uhličitý CO_2 a kyselinu uhličitou H_2CO_3
- Síranová a sirnatá voda - obsahuje různé síranové soli a kyselinu sírovou, siřičitou a sirovodíkovou
- Hladová voda - nalézá se v ní minimální množství solí a kyselin (měkká voda).
- Humusová a hlinitá voda – v této vodě reaguje ledek vápenatý (tzv. zdivokaz)

Z důvodu, že chemická degradace závisí na pórovité struktuře a na stupni nasycení, nepřipadá v úvahu sanace pomocí impregnačních nátěrů.

c) Biologické degradační procesy

Mikroorganismy se obvykle nacházejí v místech zvýšeného vlhkosti, a tím zvětšují účinek vlhkostní degradace. Výsledným projevem je vznik deskové (laminární) koroze. Některé druhy mikroorganismů narušují povrch a vytvářejí biologické povlaky, což zvětšuje množství vody, která proniká do zdiva. Takto zvýšená vlhkost přispívá k zintenzivnění degradace při zmrazovacích cyklech.

Druhy mikroorganismu:

- heterotrofní bakterie
- nitrifikačních bakterie
- chemoorganotropní bakterie
- lišejníky, řasy a mechy

Mezi biologické degradační procesy se řadí i narušení kořeny stromů a keřů.

5. Předběžný stavebně technický průzkum části cihelných hradeb v Olomouci

Úvod

Stavebně technický průzkum části olomouckých hradeb byl proveden jako předběžný. Zkoumaná část hradeb se nachází mezi Mlýnským potokem a botanickou zahradou a jedná se o historicky hodnotné barokní bastionové opevnění. Jejich orientace je na jih až jihovýchod vzhledem ke světovým stranám. V důsledku stáří a ojedinělosti této stavby bylo velmi problematické obstarání podkladů a dokumentů. Ještě na konci 19. století byla Olomouc nedobytným uzavřeným městem, pevností a citadelou, jejíž plocha fortifikací zabírala mnohé z dnešních předměstí centra města. Opevnění bylo tvořeno systémem hradeb, valů, bastionů, kurtin a redutových fortů s hlubokými vodními příkopy, ve kterých tekla řeka Morava.

5.1. Analýza historických podkladů

Olomoucké hradby patří do památkové rezervace města Olomouc. Hradby vznikly v období po třicetileté války (1618-1648), někdy kolem roku 1655, kdy bylo město vyhlášeno Ferdinandem III. pevnostním městem. Po tomto období začíná velká výstavba barokního opevnění s bastiony a vodními příkopy, do kterých tato část hradeb spadá. Výstavba navázala na předchozí opevňování bastiony, s kterým zde začali již Švédové. V období války hradby vznikaly velmi rychle a cihly na takovéto opevnění se používaly z nejbližšího okolí z několika cihlen současně. Této skutečnosti nasvědčuje odlišnost získaných vzorků. Koncem 19. století byla na územním celku města Olomouce vypracována nová koncepce opevnění sevřeného věnce, kterou vypracoval Julius von Wurmb. Realizace se z finančních důvodů od původního záměru hodně odchýlila. V roce 1888 byl zrušen vodní příkop tak, že byla snížena hladina Mlýnského potoka. Na většině hradeb se hlavně podepsal průběh 2. Světové války, kdy se do jedné ze stěn orientované na jih probourala brána, s obloukovou klenbou, pro vojenské účely.

Popis stávajícího stavu

Hradby měly funkci opevnění, ale za poslední dobu se změnily spíše v opěrnou stěnu, která drží zeminu navezenou z její druhé strany. Za poslední desetiletí se zde neprováděli žádné údržby ani opravy a je zde patrna velká degradace od vlivu vlhkosti, vegetace nebo kořeny stromů. Jedná změna poslední doby je most, který vede z botanické zahrady přes tuto konstrukci. Kladení cihel v konstrukci je s ojedinělými výjimkami prostrídáno běhouny s vazáky po vrstvách. Cihly v této zdi jsou původní z období baroka a jejich rozměry a kvalita jsou velmi odlišné. Degradace cihel má velkou závislost vzhledem ke světovým stranám, a zda se v jejich blízkosti nacházejí stromy, které vrhají stín. Na vrcholu této stěny se nachází vrstva zeminy, do které je místy zasazeno oplocení. Vodní příkop je skoro na stejné úrovni jako hladina v Mlýnském potoce, takže při oblevě nebo větších deštích se zaplaví část konstrukce.

5.2. Předběžný průzkum

- 1.- Degradace zdících prvků na nároží z důvodů vysoké hladiny podzemní vody a nepřítomné hydroizolace, které nechrání konstrukci proti zemní vlhkosti a vztlínání vodě. Způsobují tak spolu s mrazem odpadání omítky a degradaci zdících prvků. (viz. příloha č. 1)
- 2.- Velká degradace zdících prvků u všech stěn které jsou zastíněny stromy. Vlivem malého oslunění vzniká na stěnách biologická degradace od rostlin a rozpad vlivem vlhkosti. (viz. příloha č. 2 a 3)
- 3.- Z druhé strany stěny a na její vrchol byla navezena zemina a zatravněna, což způsobuje zadržování vody a vlhnutí zdiva. (viz. příloha č. 4 a 5)
- 4.- Degradace od stromů které byli již částečně odstraněny v minulosti a rozdíl degradace na stěně mezi částí na kterou svítí slunce a částí která je zastíněna korunou stromu. (viz. příloha č. 6)

Orientační zkoušky

Ze tří míst bylo odebráno 6 vzorků. Nebylo možné odebrat vzorky přímo z konstrukce tak se odebrali cihly největších rozměrů, které leželi podél konstrukce jako suť (viz. příloha č. 7). Cihly měly různé délkové odchylky šířka od 140 mm do 155 mm, výška od 65 mm do 80 mm. Délkový rozměr se na odebraných vzorcích nedal určit ale v konstrukci se pohyboval od 300 mm do 315 mm.

Na odebraných prvcích byly provedeny následující zkoušky:

- Objemová hmotnost
- Nasákavost
- Pevnost cihel pomocí Kučerovi vrtačky v závislosti na vlhkostním stavu
- Pevnost v tlaku

5.2.1. Zkouška objemové hmotnosti

Zkouška byla provedena dle normy ČSN 72 2602.

Postup:

- 1) Vzorky se umístí do sušárny po dobu 24 hodin a teplotě 105°C až 110°C.
- 2) Po ochlazení v suchém prostředí se každý vzorek odváží.
- 3) Vzorek se změří posuvným měřítkem a vypočítá se jeho objem.
- 4) Objemová hmotnost se vypočítá pomocí vzorce:

$$\rho_v = \frac{m}{V} \cdot 1000 \dots (kg \cdot m^{-3})$$

m...hmotnost vzorku v kg

V...objem vzorku v m³

Závěr:

Objemová hmotnost 6 vzorků se pohybovala v rozmezích od 1567 do 1772 kg·m⁻³

5.2.2. Zkouška nasákavosti

Zkouška byla provedena dle normy ČSN 72 2603.

Postup:

- 1) Vzorky se umístí do sušárny po dobu 24 hodin a teplotě 105°C až 110°C.

- 2) Po ochlazení v suchém prostředí se každý vzorek odváží.
- 3) Vzorky se svojí neměnnou plochou postaví do nádoby naplněné destilovanou vodou tak aby se vzorky nedotýkaly a hladina vody byla aspoň 50 mm nad povrchem vzorku.
- 4) Voda v nádobě se asi po 1 hodině uvede do varu, ve kterém se udržuje další 4 hodiny.
- 5) Po skončení varu se vzorky ponechají ve vodě dalších 16 až 24 hodin. (viz. příloha č. 8)
- 6) Po vyndání z nádoby se vzorky osuší tkaninou a do 5 minut se musí zvážít.
- 7) Nasákavost NV se vypočítá pomocí vzorce:

$$NV = \frac{m_n - m_s}{m_s} \cdot 100 \dots (\%)$$

m_n ...hmotnost nasáknutého vzorku v g

m_s ...hmotnost vysušeného vzorku v g

Závěr:

Výsledkem zkoušky je aritmetický průměr ze všech 6 vzorků, který má hodnotu 21,93 %.

5.2.3. Zkouška pevnosti pomocí Kučerovi vrtačky

Zkouška byla provedena dle normy ČSN 73 1373 a pomocí ruční vrtačky PZZ 01.

Postup:

- 1) Po očištění vzorků od nečistot a malty se upevní k podložce tak, aby nedošlo k jeho posunutí.
- 2) Výběr zkušebních míst musí být v tlačené oblasti prvku a minimální vzdálenost od okrajů prvků je 20 mm a 30 mm je vzdálenost jednotlivých vývrtů. (viz. příloha č. 9)
- 3) Stupnici na vrtačce nastavíme do polohy 2, což se rovná cihelným prvkům.
- 4) Hloubka vrtání se změří posuvným měřítkem.
- 5) Informativní hodnoty pevnosti v tlaku se porovnají s tabulkou.
- 6) Pevnost v tlaku se vypočítá pomocí vzorce- odvozeného ze statistického vzorce

$$R = R_m - t_n \cdot x \cdot S_r$$

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}$$

$$S_r = \frac{1}{n-1} \sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$$

R ... pevnost zkoušeného materiálu v MPa

R_m ...výběrový aritmetický průměr náhodné veličiny R odvozených z hloubky vývrtů (viz tabulka č. 1)

t_n ...koeficient pro určení konfidenčního intervalu (viz tabulka č. 2)

S_r ...výběrová směrodatná odchylka náhodné veličiny R

\bar{x} ... výběrový aritmetický průměr náhodné veličiny x

Kalibrační vztah pro PZZ 01 pro cihly (stupeň č. 2)

Hloubka vrtu [mm]	Pevnost v tlaku [MPa]	Hloubka vrtu [mm]	Pevnost v tlaku [MPa]	Hloubka vrtu [mm]	Pevnost v tlaku [MPa]
2	23,8	12	9,7	22	7,2
3	19,5	13	9,3	23	7,0
4	16,9	14	9,0	24	6,9
5	15,1	15	8,7	25	6,7
6	13,8	16	8,4	26	6,6
7	12,7	17	8,2	27	6,5
8	11,9	18	7,9	28	6,4
9	11,2	19	7,7	29	6,3
10	10,7	20	7,5	30	6,2
11	10,2	21	7,4		

Tabulka č.1: Kalibrační vztah [9]

Počet vzorků n	t_n	Počet vzorků n	t_n
5	0,68	15	0,35
6	0,60	20	0,30
7	0,54	25	0,26
8	0,50	30	0,24
9	0,47	40	0,21
10	0,44	50	0,18
12	0,39	100	0,13

^{*)} Pro mezilehlé hodnoty se součinitel t_n stanoví lineární interpolací

Tabulka č.1: Hodnoty součinitele t_n [12]

Závěr:

Výsledkem jsou orientační pevnosti v tlaku při relativním stavu, nasyceném stavu a vysušeném stavu.

Vysušený stav:

Vzorky byly umístěny do sušárny před zkouškou po dobu 24 hodin a teplotě 105°C až 110°C.

č. vzorku	R_m	$t_n x$	S_r	R
H ₁	7,83	0,50	0,54	7,56
H ₂	7,31	0,44	0,30	7,18
H ₃	6,95	0,72	0,12	6,86
H ₄	14,06	0,50	0,84	13,64
H ₅	13,97	0,54	1,47	13,17
H ₆	9,08	0,42	0,52	8,87

Nasycený stav:

Vzorky byly umístěny před zkouškou do nádoby s vodou po dobu 24 hodin.

č. vzorku	R_m	$t_n x$	S_r	R
H ₁	9,60	0,60	0,64	9,22
H ₂	8,03	0,44	0,22	7,94
H ₃	7,24	0,68	0,21	7,10
H ₄	13,10	0,54	0,65	12,75
H ₅	13,10	0,47	1,42	12,43
H ₆	9,02	0,42	0,19	8,94

Relativní stav:

Na těchto vzorcích byla zkouška provedena hned po odebrání a dovezení do laboratoře v nepropustném sáčku.

č. vzorku	R_m	$t_n x$	S_r	R
H ₁	11,89	0,50	0,36	11,71
H ₂	11,61	0,44	0,44	11,42
H ₃	11,61	0,44	0,45	11,41
H ₄	17,20	0,50	0,77	16,81
H ₅	13,95	0,05	0,90	13,90
H ₆	13,16	0,42	0,43	12,98

5.2.4. Zkouška pevnosti v tlaku

Zkouška byla provedena dle normy ČSN 73 2605.

Postup:

- 1) Vzorky se nařezali na jednotlivé krychličky o rozměrech 50x50x50 mm. (viz. příloha č. 10)
- 2) Po nařezání se umístí do sušárny po dobu 24 hodin a teplotě 105°C až 110°C.
- 3) Vzorky se uloží na střed do zkoušeného stroje tak, aby tlačené desky přesně dosedali na tlačené plochy vzorku.
- 4) Vzorky se plynule a rovnoměrně zatěžují tlakem až po jejich celkové porušení. (viz. příloha č. 11)
- 5) Pevnost v tlaku se vypočítá pomocí vzorce

$$\sigma_{pd} = \frac{F}{A} \dots\dots (MPa)$$

σ_{pd} ...Pevnost v tlaku v MPa

F...potřebná síla k rozdrčení vzorku v N

A.. tlačená plocha vzorku v mm²

Závěr:

Pevnost v tlaku na jednotlivých vzorcích v MPa:

č. vzorku	F	A	$\bar{\sigma}_{pd}$
H ₁	54490	2601	20,95
H ₂	36690	2635	13,93
H ₃	24593	2652	9,27
H ₄	105650	2601	40,62
H ₅	46600	2704	17,23
H ₆	28835	2512	11,48

5.3. Výpočtový model

Výpočtový model byl stanoven dle základních funkcí opevnění :

Stavba byla stavěna na odolávání dynamických účinků, které byly způsobeny od střel z praků nebo děl. Jelikož byla tato stavba budována, jako fortifikační opevnění není třeba posuzovat konstrukci na toto namáhání:

- přenesení zemního tlaku
- přenesení vlastní tíhy

Výpočtový model se shoduje, proto není potřeba navrhovat podrobný průzkum pro tuto stavbu.

5.4. Zhodnocení výsledku

Z výsledků předběžného průzkumu vyplývá, že je stavba v dobrém stavu, když přihlídneme ke stáří této konstrukce a na nepřítomnost žádné sanace. Degradace povrchových cihel nemůže narušit konstrukci z hlediska únosnosti při předpokládané šířce 4-5 metrů. Při pohledu na stavbu jako na celek se degradace vyskytuje jen do výšky vodního příkopu. Z toho vyplývá, že stěny jsou často narušeny vlhkostí od zaplavování. Stavba nemá žádné závažné trhliny, které by narušovali její únosnost. Největším problémem této stěny je vlhkost. Jednak od potoka, který se nachází v těsné blízkosti, ale také od atmosférické vody na místech, kde stíní stromy a zabraňují tak vysychání stěny. Stěna má 10° sklon to způsobuje, že na stěnu prší, ale sníh se na ní nezdržuje. Pro prodloužení životnosti bych navrhl následující opatření:

- a) zvýšení břehu mezi potokem a vodním příkopem, aby nedocházelo k jeho zaplavování.
- b) Odizolováním části stěny, která se nachází v těsné blízkosti potoka, aby zde při zvýšení hladiny potoka nedocházelo k vztlínání vlhkosti. Zvolení hydroizolace bude velmi problematické z hlediska historické hodnoty této stěny.
- c) Vykácení stromů, které brání pronikání slunečních paprsků na stěnu.
- d) Odstranění kořenů, keřů a zeleně, které se nacházejí na stěně nebo v její blízkosti.

Zkouška provedená Kučerovou vrtačkou má jen orientační charakter, protože se na ni velmi projevuje vlhkost zkoušeného vzorku. Největší hodnoty pevnosti byly naměřeny u relativního stavu a naopak nejmenší byly u vysušeného stavu. Z největší pravděpodobnosti je to způsobeno tím, že při vrtání do vysušeného vzorku proniká vrták do cihly mnohem snadněji, díky odsypu materiálu z vývrtu. Naopak u nasáklého vzorku se odvrtný materiál špatně odvádí z vývrtu a tím snižuje hloubku vývrtu. Přesné pevnosti na jednotlivých prvcích byli stanoveny až při zkoušce pevnosti v lisu. Pro upřesnění zkoušek mezi destruktivními f_{ndt} a destruktivními f_{dt}

existuje následující vztah:
$$\alpha = \frac{f_{dt}}{f_{ndt}} \rightarrow f_{dt} = f_{ndt} \cdot \alpha$$

Již degradované zdivo bych ponechal bez údržby, protože z provedených zkoušek na těchto cihlách je jasné, že mají pořád velmi dobré vlastnosti, jak v relativním stavu vlhkosti, tak nasyceném stavu vlhkosti i ve vysušeném stavu.

6. Závěr

Vzhledem k historické hodnotě je patrná snaha o zachování této stavby nebo aspoň prodloužení její životnosti. Z tohoto důvodu se provádějí průzkumy staveb, abychom zachytily poruchy a navrhli odpovídající řešení pro konkrétní historickou stavbu. V České republice má stavebně technický průzkum historických staveb velký význam z hlediska velkého výskytu historických památek.

Prováděný průzkum v této bakalářské práci byl jen předběžný. Pro podrobný průzkum by bylo potřeba větší množství vzorků, které by měli být odebrány přímo z konstrukce pomocí jádrových vývrtů. V experimentální části je patrný velký rozdíl mezi zkouškami nedestruktivními respektive lokálního poškození a mezi zkouškami destruktivními. Destruktivní nebo zkoušky tzv. „in situ“ by podle mého názoru byly nejvhodnější pro vyhodnocení skutečného stavu zkoumané konstrukce. Na zkoušky tohoto typu je potřeba spolupráce a povolení od Národního památkového ústavu.

Takovéto zkoumání a rozsah zkoušek je velmi rozsáhlé, že převyšuje rámec předběžného průzkumu a bakalářské práce. Z těchto důvodů by bylo účelné pokračovat v podrobném průzkumu.

Seznam informačních zdrojů

Technické normy

[1] ČSN ISO 13822: ZÁSADY NAVRHOVÁNÍ KONSTRUKCÍ - HODNOCENÍ EXISTUJÍCÍCH KONSTRUKCÍ

Literatura

[2] ŠKABRADA, J. KONSTRUKCE HISTORICKÝCH STAVEB, PRAHA : ARGO, 2003

[3] WITZANY, J. PORUCHY A REKONSTRUKCE ZDĚNÝCH BUDOV, PRAHA: ČKAIT, 1999

[4] ŠTORM, B. ZÁKLADY PÉČE O STAVEBNÍ PAMÁTKY, PRAHA: 1965

[5] PROCHÁZKA, R. VÝVOJ OPEVNŮVACÍ TECHNIKY NA MORAVĚ A V ČESKÉM SLEZKU V RANÉM STŘEDOVĚKU, BRNO: AVČR 2009

[6] DIBELKOVÉ, I. ,PEVNOST A OPEVNĚNÍ V ČECHÁCH NA MORAVĚ A VE SLEZKU, PRAHA: OLYMPIA 2007

[7] MURÍNOVÁ, Tereza. *Stavebně technický průzkum historických zděných budov*. VŠB-TUO, 2009. 55 s. Bakalářská práce. VŠB-TUO.

Internetové adresy

[8] <http://www.obnova.sk/clanok1555.html&mode=thread&order=0&thold=0>

[9]

http://www.fast.vsb.cz/shared/uploadedfiles/fast/7_diagnostika_zdenych_konstrukci.pdf

[10] <http://www.fast.vsb.cz/oblasti/katedry-a-pracoviste/223/studijni-materialy/zkusebnictvi-a-rizeni-jakosti>

[11] <http://www.hrady.cz/>

[12] <http://www.tzus.cz/>

Seznam obrázků

Obrázek č. 1

Provedení zdiva z vnějších zděných lícových ploch a litým středem – řecký emplekton [4]..... 5

Obrázek č. 2

Zdění na tzv. římský způsob s litým středem – provedení z cihel a kamene [4]..... 5

Obrázek č. 3 Schéma velitelské pevnosti z oblasti římského tábora Mušov [12] 5

Obrázek č. 4 Axonometrie románské chrámové lodi s pilíři [3]..... 6

Obrázek č. 5

Chrámová stavba s gotickými křížovými klenbami s lomeným obloukem [3] 7

Obrázek č. 6 Měšťanské renesanční domy s podloubím [3] 7

Obrázek č. 7 Příklad zaklenutí prostou českou klenbou [3] 8

Obrázek č. 8 Pálená cihla z 2. století n. l. – archeologické naleziště Mušov [8] 9

Obrázek č. 9

Vnější hradba 10.-12. stol.- Plášťová nahoře skořepinová hradba s masivní čelní zdí horizontálně kombinovaná roštovoá výztuž. [5] 14

Obrázek č. 10 Schéma odběru jádrového vývrtu ze zděné konstrukce [10]..... 20

Obrázek č. 11 Příklady poruch průčelí budov způsobené rozdílným sedáním [3] 23

Obrázek č. 12 Degradáční křivka [10] 30

Seznam tabulek

Tabulka č.1: Kalibrační vztah [9]..... 36

Tabulka č.2: Hodnoty součinitele t_n [12] 36

Výkresová část

č. výkresu	Název	Měřítko
01	<i>Studie současné části hradeb v Olomouci</i>	1:5000
02	<i>Schematický řez hradbami</i>	1:1000
03	<i>Hradby v historickém jádře města Olomouc</i>	1:2500

Seznam příloh

Příloha č. 1 Nároží bastionového opevnění

Příloha č. 2 Biologická degradace bastionového opevnění

Příloha č. 3 Degradace stěny vlivem zastínění

Příloha č. 4 Bastionová stěna

Příloha č. 5 Navezení zeminy z druhé strany stěny

Příloha č. 6 Rozdíl degradace na zastíněné stěně a osluněné stěně

Příloha č. 7 Odběr vzorku ze sutin

Příloha č. 8 Zkouška nasákavosti

Příloha č. 9 Cihla na které je prováděna zkouška lokálního poškození- Kučerova vrtačka

Příloha č. 10 Sezání cihel na kostičky

Příloha č. 11 Zkouška pevnosti na lise